# 이동 호스트에서 FEC기법과 수신자 기반 지역복구 방식의 멀티캐스트 전송 프로토콜 연구

김회옥[†] · 위승정[††] · 이웅기[†††]

**요 약**

이동 호스트에서의 멀티캐스트에는 호스트이동성, 멀티캐스트 결정 문제, 삼각라우팅, 터널 집중성 문제, 재전송의 폭주, 대역폭 낭비 등의 문제가 있다. 무선에서의 대역폭 낭비는 전송률을 떨어뜨리는 결정적 요인이다. 본 논문에서는 대역폭 낭비를 해결하는 방법으로 호스트 이동성, 그룹관리, 멀티 캐스트 라우팅 프로토콜을 통합하여 신뢰성 있는 패킷 손실 복구를 할 수 있는 FIM을 제안한다. FIM은 IP Mobility Support와 IGMP, DVMRP를 통합하고, FEC와 수신자 기반 지역복구방식을 사용하였다. 제안한 프로토콜의 성능은 동종 독립 손실, 이종 독립 손실, 상호 의존적 손실로 나누어 분석하였다. 손실 모델에 대한 평가는 전송그룹의 크기가 일정크기를 넘어서면, 지역그룹의 크기와 비례하여 성능이 향상되고 있음을 세 모델 전체에서 확인할 수 있었다. 따라서 제안된 프로토콜은 이동 호스트에서 데이터의 양과 수신자의 수가 많은 환경에서 효율적임을 나타내었다.

# A Study on the Performance of Multicast Transmission Protocol using FEC Method and Local Recovery Method based on Receiver in Mobile Host

Hoi-Ok Kim[†], Seung-Jung Wi[††] and Woong-Ki Lee[†††]

## ABSTRACT

Multicast in mobile host has the problem of host mobility, multicast decision, triangle routing, tunnel convergence, implosion of retransmission, and bandwidth waste. In particular, the bandwidth waste in radio is a definite factor that decreases transmission rate. To solve the problems, this paper proposes a new multicast transmission protocol called FIM(Forward Error Correction Integrated Multicast), which supports reliable packet recovery mechanism by integrating IP Mobility Support for the host mobility, IGMP(Internet Group Management Protocol) for the group management, and DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol) for the multicast routing, and it also uses FEC and the local recovery method based on receiver. The performance measurement is performed by dividing the losses into the homogeneous independent loss, the heterogeneous independent loss, and the shared source link loss model. The result shows that the performances improves in proportion to the size of local areal group when the size of transmission group exceeds designated size. This indicates FIM is effective in the environment where there are much of data and many receivers in the mobile host.

**Key words:** 모바일호스트, 모바일에이전트, 멀티캐스팅, 지역 복구, FEC(Forward Error Correction)

[†] 정회원, 조선대학교 대학원 전산통계학과 박사과정
[††] 조선대학교 전산통계학과 박사과정
[†††] 조선대학교 전산통계학과 교수

## 1. 서 론

인터넷을 중심으로한 컴퓨터 통신의 발달은 데이터 통신 및 멀티미디어 통신에 대한 기술적 발전과 이동전화, WLAN(Wireless LAN), 위성서비스로 분류되는 이동 통신의 대중화를 가져왔다[1-2].

하드웨어 가격의 하락은 휴대용 컴퓨터의 보급과 무선망의 활용을 일반화하는 계기가 되었다. 사용자는 소규모의 이동 호스트(mobile host)를 휴대하고 다니면서 계속적으로 네트워크에 접속을 유지하며 지속적인 서비스를 받을 수 있게되었다. 특히 사용자의 요구가 단순한 데이터 전송을 지나 이제는 멀티미디어를 지향하게 되면서 이동 호스트를 지원하는 무선네트워크는 대역폭의 문제가 수반된다. 또한, 오늘날 인터넷은 유선네트워크 중심이므로 무선네트워크가 인터넷에 연결될 경우 기존 유선 중심의 프로토콜이 무선에서도 적절하게 동작할 수 있어야 한다.

즉, 유선과 무선의 메커니즘 문제와 무선에서의 이동성 지원 문제, 무선의 낮은 대역폭 문제를 고려한 소프트웨어가 개발되어야 한다. 무선네트워크는 이동 호스트(MH : Mobile Host)에서 기지국까지는 무선네트워크이지만 기지국에서는 유선네트워크와 연결되어 있다. 유선네트워크에서의 전송 도중에 발생하는 패킷의 손실을 관찰해 보기 위해 MBONE (Multicast Backbone)을 대상으로 실험하였다. 실험한 결과 대부분의 패킷 손실은 송신자 링크와 수신자 링크에서 발생하고 백본 링크에서는 거의 패킷 손실이 발생하지 않음을 알 수 있었다[3-4]. 이 결과는 무선네트워크에서도 이동 호스트에서 기지국(BS : Base Station)까지의 송신자 링크와 수신자 링크 사이에 패킷 손실 발생이 많음을 나타낸다. 따라서 호스트 이동성을 지원하는 IETF의 표준안인 IP Mobility Support와 IGMP(Internet Group Management Protocol), DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol)와 FEC(Forward Error Correction), 수신자 기반 지역복구방식을 통합한 프로토콜을 제안한다.

제안한 프로토콜은 호스트의 이동성을 지원하면서 패킷 손실 복구에 대한 신뢰성을 보장하여 전송률을 높일 수 있는 프로토콜이다.

본 논문은 1장에 이어 2장에서는 지금까지 연구된 인터넷에서의 이동성 지원 방안과 멀티캐스트 프로토콜 대한 연구들을 살펴본다. 3장에서는 컴퓨터에서의 호스트 이동성을 지원하는 프로토콜과 FEC, 임의 수신자 기반 지역복구방식을 통합한 멀티캐스트 패킷 손실 복구 프로토콜을 제안한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션 방안에 대하여 기술하고 그 결과를 분석한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

호스트가 이동하는 환경에서 멀티캐스트를 지원하는 연구는 Rutgers 대학의 연구[5]와 Chikarmane의 연구[6]가 있다. Rutgers 대학 연구의 단점은 Campus내의 패킷 전달을 방송과 질의에 의존하므로 써 전송의 부담이 크다. 또한 캠퍼스 내의 각 MSR(Mobility Support Router)들은 멀티캐스트 의미보장을 위해서 상당히 복잡한 프로토콜의 상호 작용이 요구된다. Campus내에서만 멀티캐스트가 지원이 되므로 Campus 밖으로 이동한 호스트에 대한 멀티캐스트는 특별한 경우로 처리된다. Chikarmane의 방법은 호스트 이동에 따른 중복 수신 현상 및 터널 집중성 문제를 제거하였으나, 가장 큰 단점은 멀티캐스트 라우팅이 항상 HA를 경유하여 이루어지므로 삼각 라우팅이 되어 최적화되지 못한다. 또 IGMP가 MH가 홈 네트워크에 존재하는가를 검사하기 위해 수정되어야 한다.

Illinois 대학의 BTLA(Base Tree Link Augmentation Multicast Protocol)[7]에서는 최적화된 경로를 제공하여 핸드오프 지연과 그룹 참가에 대한 지연을 줄이기 위한 노력이 행해지고 있다. 그러나 패킷 분실이나 중복에 대한 고려는 없다.

MSM-IP(Midweet Street Machines Internet Protocol)[8], DCM(Distributed Core Multicast)[9]은 멀티캐스팅을 이용하여 핸드오프 지연을 줄이는 연구가 되고 있다. 또한, DVMRP[10]는 멀티캐스팅 환경을 이동 컴퓨팅에 적용시키는 연구가 되고 있다. [11]에서 보면 지역 복구 방식은 손실을 겪은 수신자가 보낸 NACK을 지역으로 제한하여 지역의 서버 혹은 다른 수신자가 손실을 복구해주는 방법이다. FEC방식은 원본 데이터를 그룹화하여 오류 복구 패리티를 생성한 후에 손실이 발생하였을 경우 송신자가 원본 데이터를 재전송하지 않고 오류 복구 패리티를 전송하는 방식이다[4]. [11]과 [4]를 보면 FEC를 이용할 경우는 송신자는 K개의 원본 패킷을 바탕으로 오류

복구 패리티를 추가하여 L개의 오류 복구 패킷을 생성한다. 오류 복구 패킷을 만드는 코딩 방식은 여러 가지가 존재하는데 본 논문에서는 패킷 복구 성능이 비교적 우수한 Reed-Solomon 코딩 방식이 사용된다. 원본 패킷 K개와 FEC 코딩에 의해 생성된 오류 복구 패킷 L개를 합한 N=K+L개를 패킷의 전송그룹(TG : Transmission Group)이라고 한다. 송신자는 N개의 패킷을 멀티캐스트 그룹에 전송한다. 각각의 수신자들은 전송된 N개의 패킷 중에서 종류와 상관없이 K개 이상만 오류 없이 수신하면 원본 데이터를 복원할 수 있다[12].

에러제어에서의 지역 복구 방식과 FEC 방식은 서로 중복 병행하여 사용할 수 있다. 이 기법을 이용하여 이동 호스트의 멀티캐스트에서 멀티캐스트 결정문제, 삼각라우팅과 터널 집중성 문제, 호스트 이동성 문제를 해결하면서 패킷 손실의 복구를 통한 신뢰성 있는 멀티캐스트 기법을 본 논문은 제안한다.

## 3. 이동 호스트에서의 신뢰성 있는 멀티캐스트 프로토콜

본 논문에서 제안하고자 하는 멀티캐스트 프로토콜은 FIM(Forward Error Correction Integrated Multicast)이다. FIM은 IETF Mobile-IP 그룹의 이동성 지원 표준안인 IP Mobility Support 프로토콜과 DVMRP, IGMP, FEC, 임의 수신자 기반 지역복구방식을 통합한 프로토콜이다. IP Mobility Support 프로토콜은 MH가 이동하더라도 고유의 HA 도메인 주소를 사용함으로써 이동 호스트에 대한 주소 문제를 해결한다. 호스트 이동성을 지원하는 환경에서 MH가 MR에 패킷을 전달하는 경우와 MH가 MR로부터 패킷을 받는 경우 호스트 이동에 따른 효과가 서로 다르다. 즉, 패킷을 전달하는 경우는 패킷의 송신자 주소가 DVMRP 역 최단거리 전송 알고리즘(revese shortest path algorithm)에 영향을 미치는 반면, 패킷을 받는 경우는 목적 MH의 현재 위치가 메시지 전송 의미와 전송 경로 효율성에 영향을 미친다. 따라서 호스트 이동성에 대한 구체적인 방안을 MH가 송신자인 경우와 수신자인 경우로 분리한다. MH가 HA에 있을 때는 고정 호스트에서의 임의 수신자기반 지역그룹화 상태와 같으므로 고려하지 않고 MH가 홈을 떠나 다른 네트워크를 방문중인 경우만 생각한다.

### 3.1 통합 병행에 의한 FIM의 그룹 관리

IP Mobility Support 프로토콜과 DVMRP, FEC, 임의 수신자 기반 지역복구방식을 통합하여 정의한 FIM의 멀티캐스트 그룹 멤버쉽 관리 방법은 다음과 같다[그림 1].

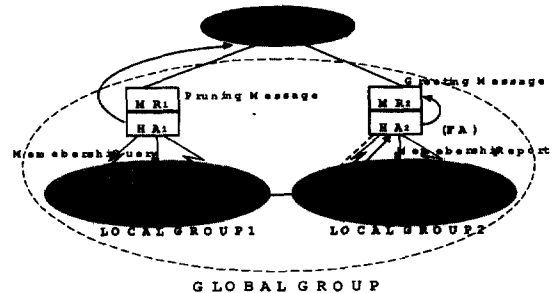



그림 1. FIM의 그룹 멤버쉽 관리

Local Group 1을 떠난 $MH_{13}$는 FA에서 운용중인 그룹 멤버쉽 관리 프로토콜의 멤버쉽 질의를 받게 되면 Local Group 2인 FA($MA_2$)에서 멤버 등록을 요청(greeting)한다. 등록 요청을 받은 FA는 $HA_1$(Local Group 1)에 이 사항을 통보하고 $MH_{13}$으로부터 전달된 정보에 근거하여 $MH_{13}$을 자신에 등록한다. FA는 다음으로 등록 확인 메시지를 $MH_{13}$에 전달한다. $MH_{13}$의 이동을 통보 받은 $HA_1$은 자신의 로컬 버퍼에서 $MH_{13}$를 해당 멀티캐스트 그룹에서 삭제하고 $MH_{13}$에 관한 정보를 넘겨 준다. 위와 같은 과정은 Hand-off 과정에서 이루어지게 된다. FA에 새로운 멤버로써 등록을 마친 $MH_{13}$는 이후의 FA의 IGMP 멤버쉽 질의 메시지를 수신한다. $MH_{13}$는 FA를 떠날 때까지 그룹 멤버쉽을 보고함으로써 FA에서의 멤버쉽을 유지한다. 한편 $HA_1$에서 주기적으로 보내는 IGMP 질의 메시지에 대해서 홈을 떠나 있는 $MH_{13}$는 응답을 하지 않게 된다. 즉, 홈을 떠나 있는 $MH_{13}$의 그룹 멤버쉽 관리는 FA가 담당하며, 멀티캐스트 알고리즘의 수행에서 $HA_1$의 대리자 역할을 수행한다. $HA_1$는 만약 자신의 서비스 영역에 더 이상의 멤버가 없다면 해당 그룹의 멀티캐스트 전파 트리로부터 자신을 제거하기 위하여 가지치기(pruning)메시지를 인접 상위 $MR_1$에게 전달한다. 한편 FA는 자신을 멀티캐스트 전파트리에 합류하기 위하여 합류(graft) 메시지를 상위 $MR_2$에 전송하여 트리에 합류하게 된다[그림 2].

1. FA로 이동한 MH는
   if FA가 멀티캐스트를 지원하지 않으면
   then FA에게 자신의 호스트 그룹 통지 HA에게 FA에 관해 통지
2. MH로부터 호스트 그룹에 관한 통지를 수신한 FA는
   if MH가 최초의 그룹 요청자이면
   then MH의 HA를 터널대리자로 지정하는 메시지를 HA에게 전달
3. FA로부터 터널 대리자 요청을 수신한 HA는 FA를 해당 그룹의 터널 종단점으로 지정.
4. MH로부터 FA에 관해 통지를 받은 HA는
   if FA가 멀티캐스트를 지원하면
   then 호스트 그룹 멤버쉽 리스트에서 MH제거
   else MH의 위치 정보(FA)를 유지

그림 2. FIM의 Hand-off 알고리즘

멀티캐스트 패킷의 전달 및 에러 복구는 3.2, 3.3, 3.4에서 구분하여 설명하도록 한다. FIM에서의 환경은 알고리즘 상에서 호스트의 이동성 구분 없이 수시로 재구성되어 지역그룹 멤버가 된다. 이동 컴퓨팅 도메인에 속하는 모든 FA는 멀티캐스트 라우터로 동작하는 것으로 가정한다. 이 방법은 이동 호스트에 한하여 적용된다. 이동호스트가 연결하고 있는 FA는 멀티캐스트를 지원하는 기능이 있는 MR이다. MR은 멀티캐스트 알고리즘에 의하여 최적인 단일 경로를 이용하여 멀티캐스트 된다.

### 3.2 FIM에서 MH가 송신자인 경우

$MH_{13}$는 끝을 알리는 메시지를 첨가한 패킷을 FA에게 정상적인 멀티캐스트 주소를 이용하여 전달한다. FA는 자신의 서비스 영역에 존재하는 송신자로부터 전달되는 패킷을 분석하여 목적지 주소로부터 해당 패킷이 멀티캐스트 패킷이라는 점과 송신 호스트가 현재 방문 호스트라는 사실을 인식하게 된다. 이때 FA는 원래의 패킷 헤더를 데이터 영역에 위치하게 하고 FA 자신의 주소를 패킷의 송신자 주소로 하는 새로운 헤더로 캡슐화한 후 다음 $MR_2$에게 전달한다. 패킷을 수신한 $MR_2$은 패킷이 마치 FA에서 시작된 것처럼 각 MR 별로 $HA_2$의 제어에 따라 원본 데이터를 전송한다. FA는 손실이 있는 수신자들의 재전송 요구를 받았을 때 그 중 가장 많은 손실이 있는 수신자에게 필요한 개수만큼의 새로운 오류 복구 패리티를 생성하여 재전송 한다. 이때도 처음과 마찬가지로 마지막 패리티에는 끝을 알리는 메시지를 첨가한다. FA에게 손실에 대한 재전송 요구가 오지 않을 때까지 위의 과정을 반복한다. 만약 임의의 시간동안 손실이 있다는 재전송 요구가 오지 않으면 다음 전송그룹을 전송한다.

지역그룹에서는 지역대표 $MH_{11}$가 해당 전송그룹의 가장 많은 손실이 있는 MH에게 필요한 수만큼의 오류 복구 패리티를 지역그룹으로 멀티캐스팅 한다. 마지막 패리티에는 끝을 알리는 메시지를 첨가하여 전송한다. 지역대표 $MH_{11}$가 재전송 요청을 받았을 때는 가장 손실이 많은 MH의 손실 개수만큼 오류 복구 패리티를 생성하여 지역그룹으로 멀티캐스팅 한다. 역시 마지막 패리티에는 끝을 알리는 메시지를 첨가하여 전송한다.

지역대표 $MH_{11}$는 임의의 시간이 지나 손실에 대한 재전송 요청이 오지 않을 때까지 위의 과정을 반복한다. 만약 임의의 시간 동안 손실에 대한 재전송 요청이 오지 않으면 지역그룹으로의 멀티캐스팅을 멈춘다[그림3-4].

### 3.3 FIM에서 MH가 수신자인 경우

MH에게 멀티캐스트되는 패킷의 경로 최적화를 위하여 $HA(MA_{1,2})$는 현재 자신의 서비스 영역을 벗어난 $MH(MH_{11,12,23})$를 호스트 그룹 멤버쉽 리스트에서 삭제한다. 삭제되는 과정은 IGMP의 그룹 멤버쉽 질의에 대한 보고가 없으면 바로 삭제된다. 홈네트워크가 아닌 다른 네트워크를 방문중인 $MH_{(11,12,23)}$는 FA의 IGMP 수행시 자신이 속한 그룹에 대한 멤버쉽을 FA에게 보고한다. 이를 FA는 자신의 호스트 그룹 멤버쉽 리스트에 유지하고 멀티캐스트 수신시에 이용한다. 이때 FA가 MR인 경우에는 MR에 의해서 전파된 멀티캐스트 패킷은 해당 호스트 그룹을 서비스하고 있는 FA에 의해 청취된다. FA와 MH사이에는 무선 매체에 의한 방송형태로 전송되므로 FA는

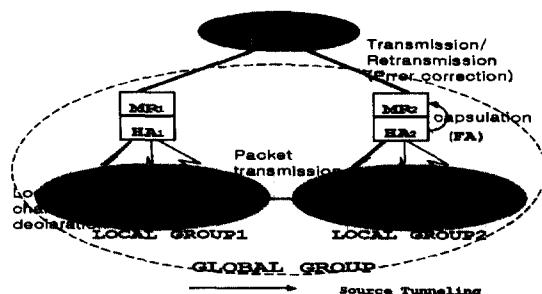



그림 3. FIM의 FA에 의한 멀티캐스트 송신

1. 멀티캐스트 패킷을 송신하고자 하는 MH는
   if 현재 방문중인 FA가 멀티캐스트를 지원하지 않으면
   then 패킷을 FA를 통하여 HA에게 터널 전달
2. 패킷을 전달받은 HA는
   if 송신자 MH가 홈을 떠나 있으면
   then 역캡슐화한 후 다음 MR에게 전달
   else 다음 MR에게 전달
3. 패킷을 전달받은 FA는
   if 해당 호스트가 방문자이면
   then 패킷을 다음 MR에게 소스 터널링
   else 다음 MR에게 전달
4. MR은 인터넷 멀티캐스트 전달 프로토콜을 수행
5. 멀티캐스트 패킷을 전달한 FA는
   if HA가 재전송을 요구하면
   then FA는 MH에게 패킷 재전송 요구
   else 다음 전송 그룹 전송
6. 지역그룹은 지역대표를 선언한 MH가 송신

그림 4. MH가 송신자인 경우의 알고리즘

한 번의 방송으로 동일한 그룹에 속한 $MH_{(11,12,23)}$들에게 패킷을 전달한다. 그 결과 터널 집중성 문제를 제거하고 중복 수신 현상을 예방한다. 한편 FA가 MR이 아닌 경우는 MH의 HA를 터널대리자로 지정한다($MH_{23}$는 $MA_2$를 터널 대리자로 지정). 터널 대리자의 지정 이후에 FA로 이동한 $MH_{12}$, $MH_{13}$은 $HA_1$을 터널대리자로 지정하지 않고 가지치기로 처리하여 FA에 전달한다. 따라서 패킷은 터널대리자를 통하여 단일 전송 경로를 이용하여 최종 멀티캐스트 라우터로 FA에 전달한다. 이 경우는 최적 경로는 아니다. 그리고 FA의 호스트 그룹 멤버쉽 리스트에 등록된 MH들은 각 전송그룹에 대해 원본 데이터와 패리티가 도착할 때마다 버퍼에 저장한다. k개 이상의 패킷을 수신한 MH가 다른 MH가 지역대표 수신자가 되기를 요청하지 않으면 자신이 지역대표가 되겠다는 패킷을 지역그룹으로 멀티캐스트한다. 지역 대표 수신자가 된 경우에 지역내의 재전송을 책임져야 하므로 버퍼내의 패킷은 지역 재전송이 종료되기 전까지는 지우지 않는다. 지역 MH들은 K개의 패킷을 받지 못했는데 전송그룹의 끝을 알리는 패킷이 도착하였을 경우는 자신에게 부족한 패킷의 개수를 포함하는 NACK를 멀티캐스팅 한다. 이 때 지역 대표 선언을 알리는 패킷을 받기 이전이라면 전역그룹으로 멀티캐스팅 하고 지역 대표가 생긴 이후라면 지역그룹으로 멀티캐스트 한다. 만약에 자신에게 부족한 패킷의 개수 이상을 다른 MH가 재전송 요청하였을 경우에는 자신의 전송을 중지한다. 지역그룹에서는 K개이상의 패킷을 수신하였을 경우는 디코더를 이용하여 K개의 원본 데이터를 디코딩한 후 상위계층으로 올려 보낸다. 부족한 패킷을 받지 못했는데 전송그룹의 끝을 알리는 패킷이 도착하였을 경우는 자신에게 부족한 패킷의 개수를 계산하여 지역그룹으로 멀티캐스트 한다. 만약에 자신에게 부족한 패킷의 개수 이상을 다른 MH가 재전송 요청하는 것을 포착하였을 경우에는 자신의 전송 요청을 중지한다[그림5-6].

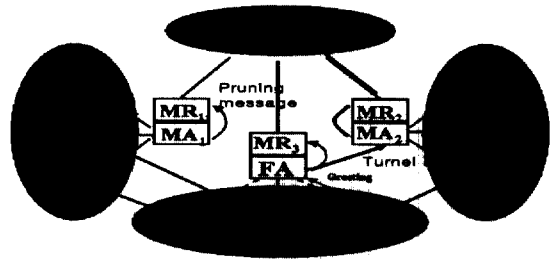



그림 5. FIM의 FA에 의한 멀티캐스트 수신

1. 인접 MR로부터 멀티캐스트 패킷을 청취한 HA는
   if 호스트 그룹 멤버쉽 리스트에 해당 MH가 있으면
   then if 해당 그룹의 터널대리자 이면
      then FA에게 터널 전달
      else if 패킷이 캡슐화 되어 있으면
         then 역캡슐화한 후 로컬 호스트들에게 방송
         else 로컬 호스트에게 방송
   else 가지치기 메시지를 인접 MR에게 전달.
2. 인접 MR로부터 멀티캐스트 패킷을 청취한 FA는
   if 호스트 그룹 멤버쉽 리스트에 해당 MH가 있으면
   then if 패킷이 캡슐화 되어 있으면
      then 역캡슐화한 후 로컬 호스트들에게 방송
      else 로컬 호스트들에게 방송
   else 가지치기 메시지를 인접 MR에게 전달
3. HA(터널대리자)로부터 패킷을 수신한 FA는 역캡슐화한 후 로컬호스트들에게 방송
4. FA가 인접 MR로부터 멀티캐스트 패킷 수신시
   if FA가 패킷을 수신
   then MH에게 멀티캐스트 패킷 전달
   else FA는 패킷 재전송 요청
5. 지역 MH가 k개 이상의 패킷 수신시
   if 지역내의 다른 MH가 지역대표 수신자 요청
   then 지역 대표 요청을 중지
   else 임의의 지연시간 만큼 기다린후 지역대표가 되겠다는 패킷을 지역그룹으로 멀티캐스팅
6. 지역 MH가 k개 미만의 패킷을 수신하였을 때
   if 지역대표 선언을 알리는 패킷을 수신하기 이전이면
   then 전역그룹으로 부족한 패킷의 개수를 포함하는 NACK를 멀티캐스팅
   else 지역그룹으로 부족한 패킷의 개수를 포함하는 NACK를 멀티캐스팅

그림 6. MH가 수신자인 경우의 알고리즘

### 3.4 FIM에서 MH가 수신하는 도중 이동하는 경우

호스트가 멀티캐스트 패킷을 수신 도중에 다른 FA로 온라인 이동한다면 다른 FA에서 멤버쉽 등록에 의한 멀티캐스트 트리가 재구성되기 전까지는 패킷을 수신할 수 없다. 호스트의 이동에 따른 트리의 재구성은 IGMP가 시간차를 두고 수행하기 때문에 패킷이 이동하기 이전에 구성된 멀티캐스트 트리에 근거하여 송신된다. 따라서 호스트가 이동하여 떠난 HA 또는 FA에서는 멀티캐스트 패킷을 받았지만 전달받을 호스트가 없기 때문에 HA 혹은 이전의 FA는 이동지원 프로토콜이 유지하고 있는 호스트의 현재 위치를 참조하여 전달한다.

## 4. 성능 평가 및 분석

본 연구에서는 C언어를 지원하는 이산사건 모의실험 도구인 CSIM[13]을 사용하여 Ultra SUN Sparc 워크스테이션에서 구현하였다.

모델링은 이동호스트가 새로운 지역그룹으로 Hand-off하는 과정과 이동호스트 자신이 송신자 일때와 수신자 일때로 구분하여 패킷을 전송하고, 전송한 패킷의 손실을 복구하는 과정까지로 한다.

이 실험을 위한 네트워크 모델의 구성 요소는 표 1과 같으며 편의상 루프(loop)가 없는 형태로 하였고 망 모델은 트리 구조 망이며, 멀티캐스트 그룹의 크기는 그룹에 포함되는 MH개수로 하였다.

관측은 600초 동안 이루어졌으며 패킷의 크기는 2kB, 수신자에서의 손실확률 $p = 0.01$로 지역그룹의 크기 Z={10,50,100}으로 하였다. 유선 및 무선에서의 전송시간은 표 2와 같이 가정하였다.

표 1. 모의 실험을 위한 네트워크 모델

| 구성요소 | 기 능 |
|---|---|
| Internet, Ethenet | 13개의 무선 네트워크 접속 |
| MR | 15 개의 멀티캐스트 라우터로 구성 |
| MA | 13개의 이동 에이전트로 구성되며 멀티캐스트 라우터로 동작 |
| 무선네트워크 | 13개의 무선네트워크 |
| MH | 제한 없이 무선 네트워크로 돌아다니며 네트워크에 접속, 한 지역에 머무는 시간은 30초이며 지수분포가정. 단위시간당 평균 멀티캐스트 전송 횟수는 초당 1멀티캐스트이며 포아송 분포 가정. |

표 2. 모의 실험에서의 구간별 전송 시간

| 구 간 | 전송 시간 |
|---|---|
| 송신자와 MA | 14ms |
| MA와 MH | 16ms |
| MA와 MA | 4.15ms |

본 연구에서의 성능 평가는 기존의 연구와 마찬가지로 대역폭 사용량을 구하였으며 대역폭 사용량을 구하는 수식은 다음과 같다.

$H=R+\frac{R}{Z}+1$ : 전체 링크의 수

R : 수신자 링크수

Z : 수신자 지역그룹 수

$E[M_i]$ : $M_i$ 의 패킷 전송 평균값

$E[L]$ : 첨부된 패킷 전송수의 평균값

$p'$ : 수신자 링크와 송신자 링크상의 손실 확률

$p^m$: 패킷당 전송수의 손실 확률

G : 백본 링크 수

$$E[B]=\frac{1}{H}\left(E[M_G]\cdot(1+G)+E[M_Z]\cdot R\right)$$

신뢰성 있는 멀티캐스트 전송에 대한 대역폭 사용량을 구하기 위해서는 손실 모델의 수립이 필요하다 MBONE을 대상으로 실제 관찰한 결과 대부분의 패킷 손실은 송신자 링크와 수신자 링크에서 발생하고 백본 링크에서는 거의 패킷 손실이 발생하지 않는다[14]. [3]은 이러한 결과를 바탕으로 동종 독립 손실, 이종 독립 손실, 상호 의존적 손실의 세 가지 모델을 제안하였다. 본 논문도 이 세 가지 모델을 기준으로 하였다. 단, 이종 독립 손실에서는 그룹내 이종 독립 손실과 그룹간 이종 독립 손실으로 나누어 분석하였다.

**동종 독립 손실** : 모든 수신자 링크에서만 손실확률 $p$로 패킷 손실이 발생하므로 다음 식으로 링크당 멀티캐스트 평균값을 구한다.

$$E[B]=1+\frac{1}{H}(E[M_Z]-1)R$$

만일 전송그룹 TG의 크기가 $k$=1, R=Z이면 $E[M_Z]=1+\frac{E[L]}{k}$ 로 계산하며, 지역그룹안에 있는 패킷당 전송되는 $M_Z$ 수의 분포는 $F_Z(m)=(1-p^m)^Z$이 된다.

**이종 독립 손실** : 전체 그룹 중 일부 그룹의 모든 수신자링크에서만 높은 손실 확률 $p_h$로 손실이 발생하므로 나머지 그룹의 모든 수신자 링크에서 손실 확률 $p$로 손실이 발생하는 이종 독립 손실은 지역그룹 Z에서의 패킷당 전송 값 분포는 $F_Z(m) = (1 - p_h^m)^{Z \cdot f_h} \cdot (1 - p^m)^{Z \cdot (1 - f_h)}$으로 나타내며, 멀티캐스트 그룹 Z에서의 패킷당 전송 값의 평균은 $E[M_Z] = \sum_{i=0}^{\infty} (1 - F_Z(m))$ 로 나타낸다. 한편 링크당 멀티캐스트 평균값은 $E[B] = 1 + \frac{1}{H}(E[M_Z] - 1)R$으로 나타낸다.

**상호 의존적 손실** : 송신자 링크에서 손실 확률 $p$로 패킷 손실이 발생하며 수신자 링크에서도 같은 손실 확률 $p$로 패킷 손실이 발생하는 상호 의존적 손실은 백본 링크 G에서의 패킷당 전송 값의 분포 $F_G(m) = (1 - p'^m)$이고, 지역그룹Z에서의 패킷당 전송 값의 분포는 $F_Z(m) = (1 - p'^m)^Z$이다.

백본 링크 G에서의 패킷당 전송 값의 평균은 $E[M_G] = \sum_{i=0}^{\infty} (1 - F_G(m))$이며, 멀티캐스트 그룹 Z에서의 패킷당 전송 값의 평균은 $E[M_Z] = \sum_{i=0}^{\infty} (1 - F_Z(m))$이다.

그리고 링크당 멀티캐스트 평균값은

$$E[B] = \frac{1}{H}(E[M_G] \cdot (1 + G) + E[M_Z] \cdot R)$$

이다. 지역그룹의 크기가 10인 손실 모델에서의 전송그룹의 크기에 대한 동종 독립 손실, 그룹간 이종 독립 손실, 그룹내 이종 독립 손실, 상호의존적 손실로 나누어서 링크당 평균값을 구한 것이 [그림 7]이다.

[그림 7]에서 보면 전송그룹의 크기가 커짐에 따라 동종 독립 손실과 그룹내 이종 독립 손실, 상호의존적 손실이 비슷한 성능을 나타내며 그룹간 이종 독립손실은 세 손실 모델과 차이가 있지만 성능이 향상됨을 알 수 있다. 특히 그룹간 이종 독립 손실은 전체 그룹 중 일부 그룹의 모든 수신자 링크에서 높은 손실 확률이 발생하는 경우이다. 이것은 모든 그룹에 대해 지역 대표가 생길 때까지 전역 멀티캐스트그룹으로 패킷을 전송하기 때문에 특정 그룹에 지역 대표가 늦게 정해지면 나머지 모든 수신자들도 전역 멀티캐스팅 패킷을 받는 다는 것을 의미한다.

[그림 8]에서 보면 전송그룹의 크기가 커짐에 따라 [그림 7]과 같이 동종 독립 손실과 그룹내 이종 독립 손실, 상호의존적 손실이 비슷한 성능을 나타내며 그룹간 이종 독립 손실은 세 손실 모델과 차이가 있지만 성능이 [그림 7]과 같이 향상됨을 알 수 있다. 세 손실 모델과의 차이는 모든 그룹에 대해 지역 대표가 생길 때까지 전역 멀티캐스트그룹으로 패킷을 전송하기 때문에 특정 그룹에 지역 대표가 늦게 정해지면 나머지 모든 수신자들도 전역 멀티캐스팅 패킷을 받기 때문이다. 하지만 지역그룹 Z=50 수신자수 $R=10^4$에서의 성능은 지역그룹에 비례하여 수신자수도 증가하고 또한 전송그룹도 증가하므로 일정한 범위 이후의 전송그룹 이후부터 급격히 향상됨을 보여주고 있다.

[그림 9]에서 보면 전송그룹의 크기가 커짐에 따라 [그림 8]과 같이 동종 독립 손실과 그룹내 이종 독립 손실, 상호의존적 손실이 비슷한 성능을 나타내며 그룹간 이종 독립 손실은 세 손실 모델과 차이는 있지만 성능이 [그림 7]과 [그림 8] 보다는 향상됨을 알 수 있다. 이것은 지역그룹과 수신자수의 증가로 지역 대표를 선언할 수신자가 많아짐으로 전송그룹의 크기

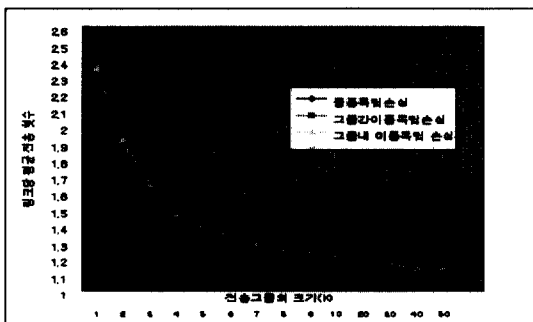



그림 7. 지역그룹 Z=10에서의 전송그룹의 크기 변화에 따른 링크당 평균 전송 횟수 : $R=10^4$, $p=0.01$

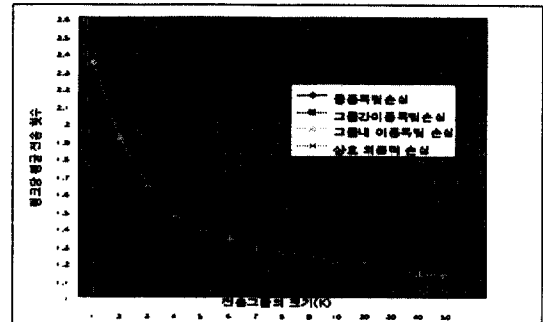



그림 8. 지역그룹 Z=50 에서의 전송그룹의 크기 변화에 따른 링크당 평균 전송 횟수 : $R=10^4$, $p=0.01$

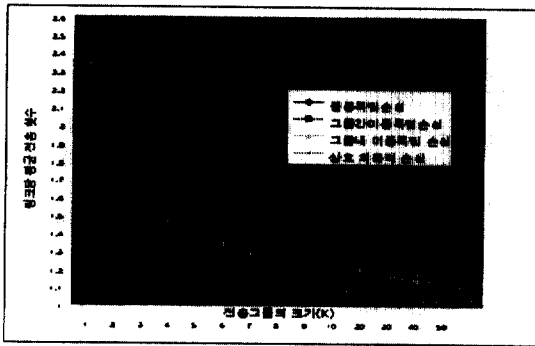



그림 9. 지역그룹 Z=100에서의 전송그룹의 크기 변화에 따른 링크당 평균 전송 횟수 : $R=10^4$, p=0.01

와 더불어 손실복구 참여가 수신자에서 이루어지므로 대역폭의 사용을 적게 함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서 제안한 이동 컴퓨터에서 호스트이동성을 지원하는 IETF의 표준안인 IP Mobility Support 와 인터넷 그룹 관리 프로토콜인 IGMP, 멀티캐스트 라우팅 프로토콜인 DVMRP와 FEC를 병행한 수신자 기반 지역복구 방식의 프로토콜을 통합한 프로토콜인 FIM은 HA를 거치지 않고 FA에 의한 멀티캐스트 라우팅을 하므로 삼각라우팅 문제와 터널 집중성 문제를 해소하였다. 또한 호스트 이동성 지원과 멀티캐스트 그룹관리 멀티캐스트 라우팅을 분리하였고, 프로토콜의 수정에서는 그룹관리 프로토콜인 IGMP만 전역그룹관리 와 지역그룹관리로 나누어서 수행하도록 수정을 하였다. 지역복구를 통한 수신자의 손실 복구 참여로 인하여 또 한번의 터널 집중성 문제 및 삼각 라우팅문제를 해결하고 재전송의 폭주, 대역폭 낭비문제를 해결하여 신뢰성 있는 멀티캐스트가 되도록 하였다.

제안한 알고리즘의 성능 평가는 동종 독립 손실, 그룹간 이종 독립 손실, 그룹내 이종 독립 손실, 상호의존적 손실로 나누어서 분석하였다. 관측은 600초 동안 이루어졌으며 수신자에서의 손실확률 $p=0.01$로 지역그룹 Z는 10, 50, 100으로 설정하여 분석하였고, 결과 분석에서 보듯이 네 가지 손실 모델에 대한 평가는 전송그룹의 크기가 일정크기를 넘어서면, 지역그룹의 크기와 비례하여 성능이 향상되고 있음을 세 모델 전체에서 확인 할 수 있었다. 이것은 FEC 방식과 지역그룹 수신자 방식의 병합을 통한 알고리즘이 이동호스트에서 데이터의 양과 수신자의 수가 많은 환경에는 효율적인 성능을 보임을 의미한다.

향후에는 이동호스트에서 ARQ 기반의 지역복구 방식과 FEC 기반의 지역복구 방식을 비교 분석하여 기존 유선에서 연구되어진 결과와 어떤 관계가 있는지 알아보고자 한다.

## 참 고 문 헌


[1] C. Perkins, Mobile IP, Addison Wesley, 1997.

[2] C. Perkins, "IP Mobility Support," REC2002, http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt, October 1996.

[3] J. Nonnenmacher, M. Lacher, M. Jung, E. W. Biersack, and G. Carle, "How bad is Reliable Multicast without Local Recovery?", in Proc. of IEEE INFOCOM '98, Vol. 3, pp.972-979, March 1998.

[4] M. Yajnik, J. Kurose, and D. Towsley, "Packet loss correlation in the mbone multicast network", in Proc. of IEEE Global Internet, London, UK, Nov 1996.

[5] A. Acharya and B. R. Badrinath, "Delivering Multicast Messages in Networks with Mobile Hosts," in Proc. 13th Int'l Conf. on Distributed Computing Systems, pp.292-299, 1993.

[6] V. Chikarmane, R. Bunt and C. Williamson, "Mobile IP-based Multicast as a Service for Mobile Hosts," in Proc. of the IEEE Workshop on Services in Distributed and Networked Environments, pp.11-18, 1995.

[7] T. E. Kim and V. Bharghavan, "A Multicast Routing Algorithm for Mobile Computing Environments," Technial Report, Illinois University, 1998.

[8] J. Mysore and V. Bharghavan, "A New Multicasting-based Architecture for Internet Host Mobility," Technial Report, Illinois University, 1996.

[9] L. Blazevic and J. L. Boudec, "Distributed Core Multicast(DCM): a routing protocol for many small groups with application to mobile IP

telephony," Internet-draft, 1999.

[10] D. Kosiur, IP Multicasting : The Complete Guide to Interactive Corporate Networks, John Willey & Sons, Inc, 1998.

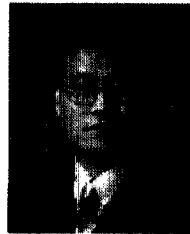
[11] S. K. Kasera and J. Kurose and D. Towsley "A Comparison of Server-Based and Receiver-Based Local Recovery Approaches for Scalable Reliable Multicast," in Proc. of IEEE INFOCOM '98, Vol. 3, pp.988-995, March 1998.

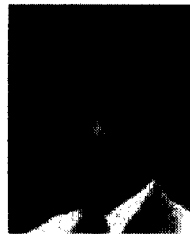
[12] L. Lizzo, "Effective Erasure code for Reliable Computer Communication protocols," ACM Computer Communication Review, Vol. 27, No. 2, pp.24-36, Apl 1997.

[13] A. Heybey, The Network Simulator: netsim Version 2.2, MIT LCS Group, 1990.

[14] M. Yajnik, J. Kurose, and D. Towsley, "Packet loss correlation in the mbone multicast network," in Proc. of IEEE Gloal Internet, London, UK, Nov 1996.

**김 희 옥**

1997년 순천대학교 전산교육과 석사
2001년 조선대학교 대학원 전산통계학과 박사과정수료
관심분야 : 이동컴퓨팅, 멀티미디어 시스템, WATM.

**위 승 정**

1996년 조선대학교 대학원 전산통계학과 석사
2001년 조선대학교 대학원 전산통계학과 박사과정수료
관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어저작

**이 웅 기**

2001년 조선대학교 수학·전산통계학과 교수
관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 멀티미디어 시스템, 컴퓨터구조